

Niina Elki

# Autoklaavien validointi ja optimointi

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Bio- ja elintarviketekniikka

Insinöörityö

18.4.2017

Tekijä(t) Otsikko	Niina Elki Autoklaavien validointi ja optimointi
Sivumäärä Aika	31 sivua 18.4.2017
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Bio- ja elintarviketekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	
Ohjaaja(t)	Yliopettaja Riitta Lehtinen Laatupäällikkö Katja Peltomäki
<p>Insinöörityö tehtiin HKScan Finland Oy:lle. Vantaan tuotantolaitokselle tilattiin uusia autoklaaveja ja työn tarkoituksena oli niiden validointi, eli todentaa, että autoklaavien pastörintiohjelmat toimivat halutulla lailla. Tämän ohella selvitettiin, olisiko tuotantolaitoksella jo käytössä olleiden autoklaavien ohjelmia syytä optimoida.</p> <p>Validointi tehtiin neljälle pastörintiohjelmalle, joista kutakin käytetään erityyppisten tuotteiden pastörintiin. Tuotteisiin laitettiin lämpötiladataa mittaavia loggereita, ja niiden keräämän lämpötiladatan avulla tuotteille laskettiin pastörintikäsittelyn riittävydestä kertovat P/D-arvot. Pastörintikäsittelyä voitiin pitää tuoteturvallisuuden kannalta riittävänä, mikäli P/D-arvo ylitti arvon 6. Vanhemmilla autoklaaveilla tehtiin edellä mainitun kaltaisia lämpötilamittauksia yhdelle pastörintiohjelmalle ja tulosten perusteella arvioitiin tarvetta ohjelman optimoinnille.</p> <p>Kaikki neljä validoinnissa testattua ohjelmaa pystyttiin toteamaan toimiviksi, sillä P/D-arvot ylittivät raja-arvon. Mittaustuloksissa esiintyi kuitenkin sen verran epätasaisuutta, että ohjelmille olisi syytä jatkaa toistomittauksia, joiden avulla saataisiin selville, mistä epätasaiset tulokset ovat johtuneet. Vanhemmilla autoklaaveilla tehdyt mittaukset osoittivat, että niillä käytettävien ohjelmien optimointia olisi syytä tehdä.</p>	
Avainsanat	tuoteturvallisuus, lämpökäsittely, pastörinti, autoklaavi

Author(s) Title	Niina Elki Validation and optimization of autoclaves
Number of Pages Date	31 pages 18 April 2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Biotechnology and Food Engineering
Specialisation option	
Instructor(s)	Riitta Lehtinen, Senior Teacher Katja Peltomäki, Quality Manager
<p>This thesis was made for HKScan Finland Oy. New autoclaves were ordered by the factory of Vantaa, and the goal of this thesis was validate those, which means that the pasteurization programs should work as demanded. Also, it was meant to clarify if it is possible to optimize the functioning of older autoclaves.</p> <p>Validation was performed for four different pasteurization programs, and each of them was used with different kinds of products. Loggers which measure heat were placed in products in the autoclaves. By collecting that measurement data, it was possible to calculate P/D-values, which would give information about pasteurization treatment. If the P/D-values were over the value 6, it was satisfactory in terms of product safety. These same measurements were also made for one pasteurization program in older autoclaves, and with the results, it was possible to consider the need of optimizing those older programs.</p> <p>All four programs which were tested in validation were proved functional, because the P/D-values achieved the acceptable level. On the other hand, some instabilities were found in the results thus, it would be necessary to continue measurements with repetition to find out their origin. The measurements made for older autoclaves authenticates the need of improving these older programs.</p>	
Keywords	product safety, heat treatment, pasteurization, autoclave

## Sisällys

1	Johdanto	1
2	Valmisruoat	1
3	Lihat ja lihavalmisteet	2
4	Elintarvikkeiden pilaantuminen	4
4.1	Yleistä	4
4.2	Mikrobiologinen pilaantuminen	5
4.2.1	Valmisruokien mikrobiologiset riskit	7
4.2.2	Lihatuotteiden mikrobiologiset riskit	8
5	Elintarvikkeiden lämpökäsittely	8
5.1	Lämpökäsittelymenetelmät	8
5.1.1	Pastörinti	9
5.1.2	Sterilointi	9
5.2	Mikrobien lämmönkestävyys	10
5.2.1	Lämpötuhoutumiskäyrä ja D-arvo	11
5.2.2	Lämpötuhoutumisaikakäyrä ja z-arvo	12
5.2.3	F-arvo ja P-arvo	13
5.3	Autoklaavi	14
6	Työn toteutus	16
6.1	Mittalaitteisto	17
6.2	P/D-arvon laskeminen	19
6.3	Mittausten suoritus ja tulokset	20
6.3.1	Optimointi	21
6.3.2	Validointi	22
7	Tulosten analysointi	25
7.1	Optimointi	25
7.2	Validointi	27
7.3	Ehdotuksia jatkotoimenpiteiksi	28
	Lähteet	30

## 1 Johdanto

Ihminen on koko historiansa ajan pyrkinyt säilömään ruokaansa. Elintarvikkeen säilyvyyttä on pyritty parantamaan mm. kuumentamalla, kuivaamalla ja säilyttämällä alhaisissa lämpötiloissa jo kauan aikaa. [1, s. 187–195.] Yleensä elintarvike on mikrobeille erinomainen kasvualusta ja luonnollisesti tämä tuo omat haasteensa elintarvikkeiden säilyvyydelle. [2, s. 17–22.]

Riittävän kuumennuskäsittelyn avulla elintarvikkeesta saadaan tuhottua mahdolliset pilaaja- ja taudinaiheuttajamikrobit, ja elintarviketeollisuudessa käytössä olevia menetelmiä ovat pastörinti, sterilointi, ryöppäys, iskukuumennus ja säteilyttäminen. [3.]

Tämä työ tehtiin HKScan Finland Oy:lle, ja työn tarkoituksena oli uusien Vantaan tehtaalle tilattujen autoklaavien käyttöönotto ja validointi sekä samalla selvittää, olisiko tehtaalla jo käytössä olevien autoklaavien toimintaa syytä optimoida.

Autoklaaveja käytetään HKScan Finland Oy:llä erilaisten valmisruokien ja lihatuotteiden pastörintiin, ja työn tärkein tehtävä oli varmistaa käyttöönotettavien autoklaavien pastörintiohjelmien toimivuus varmistamalla, että pastöroidut tuotteet ovat saavuttaneet tuoteturvallisuuden kannalta riittävän pastörintiarvon.

## 2 Valmisruoat

Valmisruoat ovat teollisesti valmistettuja tuotteita, jotka kuluttaja voi nauttia sellaisenaan tai lämmitettynä. Tällaisiin tuotteisiin kuuluvat esimerkiksi mikroruoat ja muut annosateriat, laatikkoruoat, salaatit, jälkiruoat, pizzat, lisäkekastikkeet sekä lihasta, kalasta tai kanasta valmistetut pihvit tai pyörykät. [1, s. 187–195; 2, s. 246–247; 4, s. 140–141.]

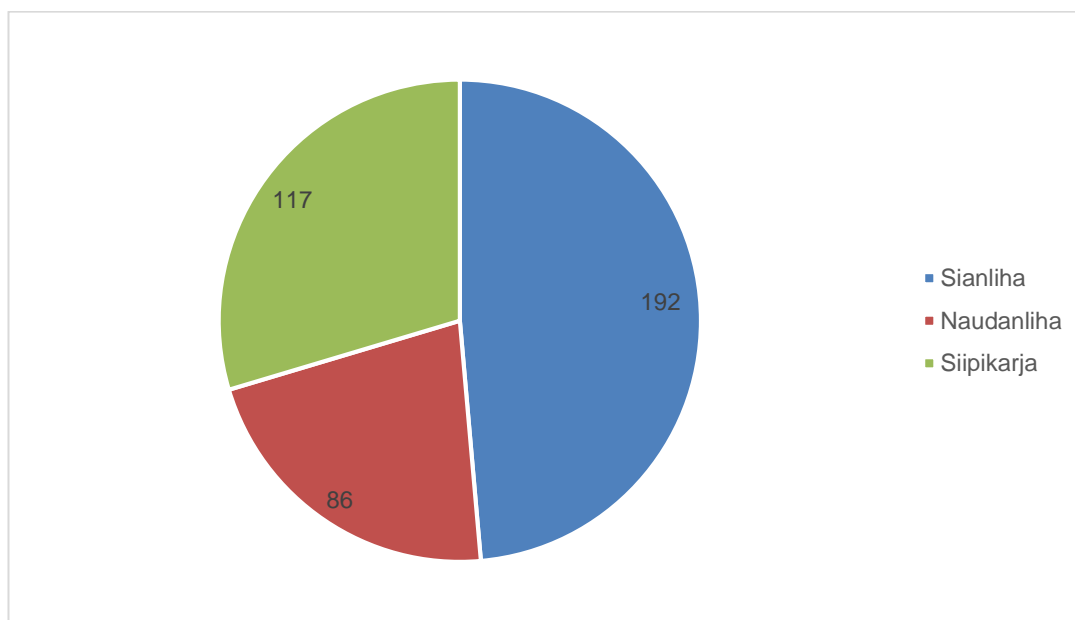
Suomen kielessä toinen yleinen nimitys valmisruoille on ”eines”, englanniksi nimityksiä ovat mm. ”ready meals” ja ”ready-to-eat foods”. Valmisruokien kulutus on kasvanut huomattavasti viimeisimpien vuosikymmenten aikana, sillä kiireisen elämäntyylin lisääntyessä kuluttajat suosivat yhä enemmän helposti ja nopeasti valmistettavia aterioita. [1, s. 187–195; 2, s. 246–247; 4, s. 140–141.]

Tuoreena myytävä valmisruoka tuli markkinoille Suomessa 1950-luvulla. Ensimmäisenä markkinoille tulivat maksalaatikko, lihapyörökät ja kaalikääryleet. Aluksi valmisruokateollisuus oli käsityöhön perustuvaa teollisuutta ja sitä pidettiin ennemminkin eineskeittinä kuin valmisruokateollisuutena. 1980-luvulla tehokkaat valmistuskoneet mahdollistivat tuotannon kasvun ja laajan valikoiman tehden eineskeittiöstä nykyisen valmisruokateollisuuden. [2, s. 184–204.]

### 3 Lihat ja lihavalmisteen

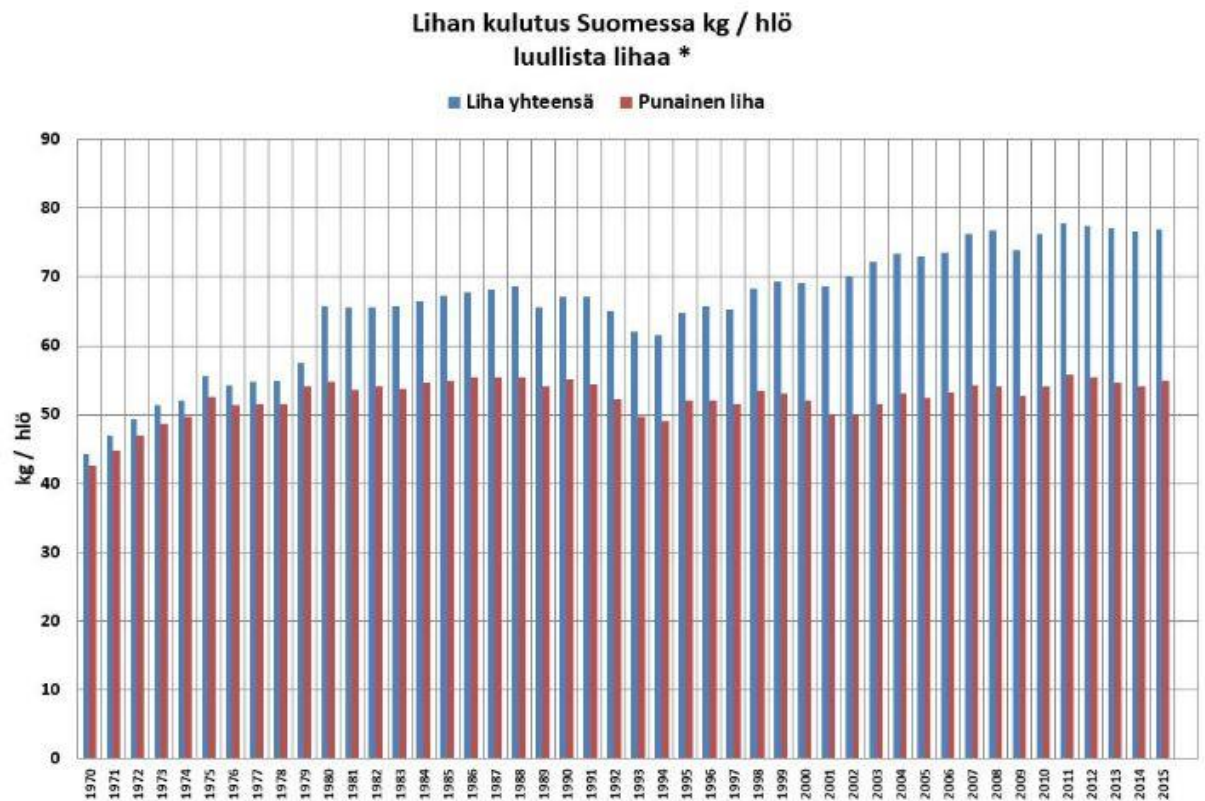
Suurin osa kaupassa myytävästä lihasta on peräisin tuotantoeläinten luihin liittyvistä lihaksista, eli luustolihaksista, jotka ovat poikkijuovaisia ja tahdonalaisia lihaksia. Eläimen kuoleman jälkeen lihaksisto muuttuu lihaksi. Märehtijöistä, siasta tai hevosesta peräisin ollutta lihaa kutsutaan punaiseksi lihaksi ja valkoiseksi tai vaaleaksi lihaksi kutsutaan siipikarjanlihaa. [5; 6.]

Suomessa lihantuotantoon käytetään pääasiassa nautoja, sikoja ja siipikarjaa, muiden eläinlajien merkitys lihantuotannossa on melko pieni. Vuonna 2015 Suomessa tuotettiin lihaa hieman yli 396 miljoonaa kiloa, eniten tuotetun sianlihan osuus oli noin 192 miljoonaa kiloa (kuva 1). [5; 6.]



Kuva 1. Lihantuotanto Suomessa vuonna 2015. [6.]

Kuten kuvasta 2 nähdään, punaisen lihan syönti on pysynyt jo vuosikymmeniä suunnilleen samalla tasolla. Vaalean lihan (sininen palkki) kulutus sen sijaan on ollut kasvussa jo 1980-luvulta saakka, joten keskimäärin suomalainen on kuluttanut lihaa joka vuosi enemmän, vaikka varsinkin viime vuosina lihansyönnin vähentämisestä on puhuttu paljon. [7.]



\* Luullisesta lihasta on luutonta 80 %. Kun huomioidaan kypsennyshävikki, 10-30 % tuotteesta riippuen, kypsänä syödyn lihan määrä on reilu 50 % luullisen lihan määrästä.

Kuva 2. Lihan kulutus Suomessa (kg / hlö) vuosina 1970–2015. [8.]

### Sous vide -kypsennys

Termi "sous-vide" on ranskaa ja tarkoittaa suoraan käännettynä "tyhjiössä". Sous vide -kypsennysmenetelmä keksittiin 1970-luvulla, jolloin keittiömestari Georges Pralus havaitsi, että hanhenmaksasta saatiin tavallista maukkaampaa ja mehevämpää matalassa lämpötilassa kypsennyksen ansiosta. [2, s. 300; 9, s. 117; 10; 11.]

Menetelmä sopii monelle raaka-aineelle, mutta erityisen hyvin se sopii mm. lihalle, kalalle ja kasviksille. Vakuuissa kypsennettäessä tuote kypsyy omassa liemessään, jonka ansiosta raaka-ainehävikkiä ei pääse syntymään. Lisäksi alhaisen lämpötilan ansiosta tuotteet saadaan pysymään mehevämpinä ja maukkaampina. Esimerkiksi liha-tuotteet saadaan sous vide -kypsennyksen avulla pysymään tasalaatuisempina, sillä suuretkin tuotteet pystytään valmistamaan tasalaatuisesti polttamatta pintaa ja jättämättä tuotetta sisältä raa'aksi. [2, s. 300; 9, s. 117; 10; 11.]

Teollisuudessa sous vide -kypsennystä käytetään lähinnä ravintoloille ja suurkeittiöille suunnattujen tuotteiden valmistamiseen ja niitä onkin valmistettu jo pitkään. [2, s. 300; 9, s. 117; 10; 11.]

## **4 Elintarvikkeiden pilaantuminen**

### **4.1 Yleistä**

Elintarvikkeiden pilaantumisella tarkoitetaan jonkin aistittavan ominaisuuden (maku, haju, ulkonäkö tai rakenne) muuttumista niin, että vaikutus on elintarvikkeelle epäedullinen. Pilaantunut elintarvike voidaan todeta aistinvaraisesti ihmisravinnoksi kelpaamattomaksi, sen sijaan ruokamyrkytysbakteereita sisältävä elintarvike voi olla aistittavilta ominaisuuksiltaan täysin moitteeton. Vaikka pilaantuneen elintarvikkeen nauttiminen ei aina olisikaan terveydelle vaarallista, pilaantunutta elintarviketta ei saa myydä tai tarjoilla. [2, s. 178–179; 12.]

Elintarvikkeiden pilaantumiseen vaikuttavat elintarvikkeen ominaisuudet sekä ympäristötekijät. Kehittyneissä maissa mikro-organismit aiheuttavat yleensä suurimman osan pilaantumismuutoksista. Tämän lisäksi elintarvikkeiden pilaantumista voivat aiheuttaa siinä tapahtuvat biokemialliset reaktiot, kemialliset ja fysikaaliset tekijät, tuhoeläinten aiheuttamat vahingot sekä virheet käsittelyssä ja säilönnässä. [2, s. 178–179; 12.]

Pilaantunut elintarvike voi aiheuttaa ruokamyrkytyksen eli elintarvikkeen tai talousveden välityksellä saadun infektion. Useimmiten ruokamyrkytyksen aiheuttajat ovat bakteereita, viruksia tai mikrobien tuottamia toksineja. Kun vähintään kaksi ihmistä on saanut saman tyyppisen sairauden saman ruoan tai veden nauttimisesta, voidaan puhua ruokamyrkytys-epidemiasta. [2, s. 437–442; 13.]



Elintarviketurvallisuusvirasto (Evira) kerää tietoja selvitetystä elintarvike- ja vesivälitteisistä epidemioista. Kaikki ruokamyrkytysten aiheuttamat sairastumiset eivät tule viranomaisten tietoon, sillä niitä jätetään ilmoittamatta tai sairastuessa ei osata ajatella ruokamyrkytyksen mahdollisuutta. [13.]

Kuvassa 2 esitetään Eviran tietoon tulleiden ruokamyrkytys-epidemioiden määrä, sairastuneet, sekä epidemioiden aiheuttajat vuonna 2015. Elintarvikevälitteisissä epidemioissa suurin ruokamyrkytysten aiheuttaja oli norovirus, talousvesivälitteisiin epidemioihin sairastuneista 98 %:lla myrkytyksen aiheuttajaa ei pystytty selvittämään.

Aiheuttaja	Epidemioita, kpl	Sairastuneita, kpl	
	N=43	N=1430	%
<b>Elintarvikevälitteiset</b>			
Bacillus cereus	1	5	1
Campylobacter jejuni	1	15	2
Clostridium perfringens	2	15	2
Listeria monocytogenes	1	24	4
Salmonella Newport	1	45	7
Shigella flexneri	1	7	1
Hepatiitti A -virus	1	6	1
Norovirus	12	370	55
Staphylococcus aureus	1	6	1
Tuntematon	19	158	24
<b>Yhteensä</b>	<b>40</b>	<b>667</b>	<b>100</b>
<b>Talousvesivälitteiset</b>			
Kampylobakteeri	1	17	2
Tuntematon	2	746	98
<b>Yhteensä</b>	<b>3</b>	<b>763</b>	<b>100</b>

Kuva 3. Ruokamyrkytys-epidemiat, sairastuneet ja epidemioiden aiheuttajat vuonna 2015. [14.]

#### 4.2 Mikrobiologinen pilaantuminen

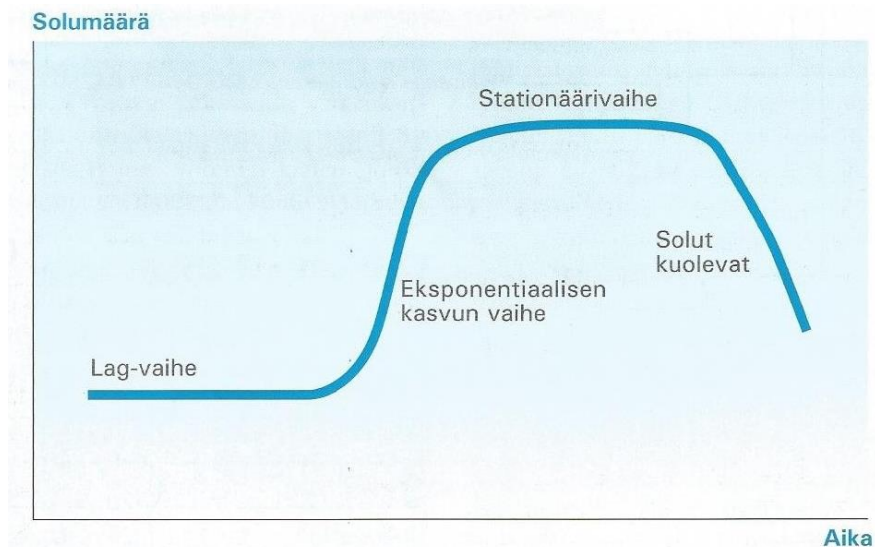
Mikro-organismit eli mikrobit ovat yksinkertaisia eliöitä, jotka eivät näy paljain silmin. Mikrobeihin kuuluvat bakteerit, levät, alkueläimet, hiivat, homeet ja virukset, ja tähän joukkoon kuuluu monia haitallisia, sairauksia aiheuttavia mikrobeja. Elintarvikkeet ovat yleensä mikrobeille hyvä kasvualusta, sillä niiden luonnolliset ominaisuudet ja prosessointi säätelevät niissä kasvavan mikrobiston lajistoa ja kasvua. [2, s. 5, 17–22, 178–179; 12; 15; 16.]

Mikrobit voivat aiheuttaa elintarvikkeen pilaamista monin eri tavoin. Mikrobin lisääntyessä niiden aineenvaihdunnassa muodostuu pilaantumista aiheuttavia yhdisteitä, jotka aiheuttavat aistinvaraisesti havaittavia muutoksia elintarvikkeeseen. Aistittavat pilaantumismuutokset vaihtelevat aiheuttajamikrobien ja elintarvikkeiden mukaan. [2, s. 5, 17–22, 178–179; 12; 15; 16.]

Kasvaakseen mikrobit tarvitsevat vettä, energianlähteen, typenlähteen, vitamiineja ja vastaavia kasvutekijöitä sekä mineraaleja. Elintarvikkeissa tapahtuvaan mikrobikasvuun vaikuttavat tekijät ovat elintarvikkeen happamuus ja vedenaktiivisuus, sekä ympäristön lämpötila, kosteus ja hapen määrä. Mikrobit reagoivat hyvin eri tavoin ympäristöolosuhteisiin, joten samat elinolosuhteet saattavat olla hyödyllisiä toiselle ja haitallisia toiselle lajille. [2, s. 5, 17–22, 178–179; 12; 15; 16.]

Valmisruoka- ja lihatuotteilla bakteerit muodostavat suurimman mikrobiologisen riskin. Näistä kerrotaan lisää luvuissa 4.2.1 ja 4.2.2.

Vakaissa kasvuolosuhteissa bakteerit noudattavat eksponentiaalista kasvua, jossa niiden lukumäärän logaritmi kasvaa lineaarisesti ajan funktiona. Kasvu voidaan jakaa neljään eri vaiheeseen. Ensimmäinen vaihe on lag-vaihe (viivevaihe), jossa solupopulaatio sopeutuu uusiin olosuhteisiin, eikä lisäännä. Toisessa, eli eksponentiaalisen kasvun vaiheessa, solujen lukumäärä ja solupopulaation massa moninkertaistuvat nopeasti. Kasvunopeus on riippuvainen geneettisistä ominaisuuksista ja ympäristön olosuhteista, kuten esimerkiksi lämpötilasta. Kasvun kolmas vaihe eli stationäärivaihe seuraa, kun kasvuun tarvittavat ravintoaineet on kulutettu loppuun mitä seuraa solujen kasvun pysähtyminen. Stationäärivaiheen saavuttamisen jälkeen saavutetaan kuolinvaihe, jossa kuolevia soluja on syntyviä soluja enemmän. Solujen kuolema tapahtuu eksponentiaalisesti, mutta huomattavasti hitaammin, kuin solujen lisääntyminen eksponentiaalisessa vaiheessa (kuva 4). [16.]



Kuva 4. Bakteripopulaation kasvukäyrä ja sen eri vaiheet. [2, s. 18.]

#### 4.2.1 Valmisruokien mikrobiologiset riskit

Valmisruokien turvallisuus perustuu ensisijaisesti riittäviin lämpökäsittelyihin, hyvään tuotantohygieniaan ja katkeamattomaan kylmäketjuun. [2, s. 246–252.]

Tyypillisin valmisruokien lämpökäsittely on pastörinti (luku 5.1.1). Prosessin avulla tuotteesta saadaan tuhottua kasvukykyiset bakteerit, virukset ja alkueläimet, mutta ei välttämättä kaikkia bakteeri-itiöitä. Kylmäsäilytys aiheuttaa psykrofiilisten mikrobien valikoitumista valmisruokiin. Tärkein lämpökäsittelyihin valmisruokiin liittyvä patogeeneibakteeri on ryhmän II *Clostridium botulinum*, jonka itiöt kulkeutuvat maaperän ja vesistöjen kautta useisiin elintarvikkeiden raaka-aineisiin ja valmiisiin tuotteisiin. Itiöt kestävät 60–70 °C:n lämpötilaa melko pitkään, eivätkä välttämättä tuhoudu vielä 80 °C:n lämpötilassakaan. Ryhmän II *C. botulinum* -kannat kykenevät kasvamaan ja tuottamaan ihmisen terveydelle vaarallista neurotoksiinia muutamassa viikossa 5–8 °C:n lämpötilassa, eivätkä valmisruokien suola- ja lisäainepitoisuudet riitä estämään *C. botulinum* kasvua. Botulinumtoksiinia sisältävä tuote voi olla aistinvaraisesti moitteeton, sillä hajuton ja mauton toksiini ei aiheuta tuotteeseen pilaantumismuutoksia. [2, s. 246–252.]

Toisen valmisruokiin liittyvän merkittävän turvallisuusriskin aiheuttaa *Listeria monocytogenes*, joka voi kasvaa jopa 0 °C:n lämpötilassa. Lämpökäsittelyllä *L. monocytogenes*

saadaan tuhottua, mutta kontaminaatoriskin aiheuttavat sitkeät monille desinfektioaineille resistentit niin sanotut laitoscannat, jotka voivat pesiä tuotantolaitoksissa hyvin pitkään ja näin kontaminoida tuotteita pitkäänkin. [2, s. 246–252.]

#### 4.2.2 Lihatuotteiden mikrobiologiset riskit

Tuore liha on bakteereille ihanteellinen kasvualusta, sillä ravinteikas koostumus, pH ja vesiaktiivisuus tarjoavat optimaalisen kasvualustan bakteereille. Ulkoisia tekijöitä muuttamalla voidaan kuitenkin vaikuttaa bakteerien valikoitumiseen ja kasvunopeuteen.

Lihan alkukontaminaatio koostuu lukuisista erilaisista pilaajabakteereista ja toisinaan myös tautia aiheuttavista bakteereista. Tyypillisiä raa'an lihan pinnalla esiintyviä tautia aiheuttavia bakteereita ovat salmonellat, EHEC, *Yersinia enterocolitica*, termofiilit kampylobakteerit, itiöttömät *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, sekä itiölliset *Clostridium perfringens*, *Clostridium botulinum* ja *Bacillus cereus*. [2, s. 184–199.]

## 5 Elintarvikkeiden lämpökäsittely

### 5.1 Lämpökäsittelymenetelmät

Elintarvikkeiden lämpökäsittelyä käytetään ruoan turvallisuuden ja säilyvyyden lisäämiseksi, sillä ruoan kuumennuksen avulla tuotteesta saadaan tuhottua mahdolliset pilaaja- ja taudinaiheuttajamikrobit. [3.]

Tässä työssä keskitytään pastörintiin, jonka lisäksi luvussa 5.1.2 kerrotaan steriloinnista näiden kahden eri menetelmän erojen selvittämiseksi. Pastörintin ja steriloinnin lisäksi muita lämpökäsittelymenetelmiä ovat ryöppäys, iskukuumennus ja säteilyttäminen. [3.]

Ryöppäys on nopea lämpökäsittely höyryllä tai kiehuvalle vedelle, ja sen tarkoituksena on pysäyttää tuotteen entsyymitoiminta ja tuhota siinä olevia mikrobeja. [3.]

Iskukuumennusta (UHT, Ultra High Temperature) käytetään pääasiassa maidon tai muiden nestemäisten tuotteiden käsittelyyn. Tuote kuumennetaan noin kahden sekunnin

ajaksi 135–150 °C:seen. Tehokkaan korkeassa lämpötilassa tapahtuvan käsittelyn ansiosta tuotteesta saadaan mikrobien lisäksi tuhottua myös bakteeri-itiöt ja tuotteet voivat säilyä huoneenlämmössä jopa useita kuukausia. [3.]

Elintarvikkeet voidaan steriloida myös gamma- tai beetasäteilyn avulla. Suomessa säteilytys on sallittua vain mausteille ja mausteyrteille. [3; 17.]

#### 5.1.1 Pastörinti

Pastörinti on yleensä 60–95 °C:ssa tapahtuva lievä lämpökäsittely. Pastörintin avulla tuotteesta pystytään tuhoamaan mahdolliset tautia aiheuttavat bakteerit, mutta tuotteesta ei pastörimalla saada kokonaan mikrobienta. [2, s. 300; 18, s. 40–43.]

Pastörintiaika ja -lämpötila valitaan kullekin tuotteelle sen ominaisuuksien mukaan. Jos tuotteen ominaisuudet kestävät kovemman lämpökäsittelyn, voidaan pastörintiaikaa lyhentää, jos taas tuote vaatii ominaisuuksiensa puolesta pidemmän kypsytyksen, voidaan lämpötilaa alentaa. [2, s. 300; 18, s. 40–43.]

Koska pastörinti on lievä lämpökäsittely, sen vaikutukset elintarvikkeen kemialliseen koostumukseen, makuun, ulkonäköön tai ravintoarvoon ovat melko vähäiset. [2, s. 300; 18, s. 40–43.]

Pastörintiin soveltuvia laitteita ovat levylämmönvaihdin, putkilämmönvaihdin, kaavinlämmönvaihdin, pastörintitunneli ja autoklaavi. Käytettävän laitteen lisäksi pastörintin tehoon vaikuttavat tuotteen ominaisuudet. Meijeriteollisuuden lisäksi pastörintia käytetään paljon valmisruokateollisuudessa. [2, s. 300; 18, s. 40–43.]

#### 5.1.2 Sterilointi

Sterilointi on pastörintia kovempi lämpökäsittely ja sen avulla tuotteesta saadaan mikrobien lisäksi tuhottua myös niiden itiöt ja menetelmää käytetään pääasiassa täyssäilykkeiden valmistukseen. [3; 18, s. 40–43.]

Pastörintin tavoin steriloinnissakin tavoitellaan mahdollisimman lyhyttä lämpökäsittelyä, jota seuraa tehokas jäähdytys. Koska steriloinnin tarkoituksena on poistaa tuotteesta

myös mikrobien itiöt, käytetyt lämpötilat ovat pastörintia korkeammat. Käytettävään lämpötilaan vaikuttavat mm. pakkauksen materiaali ja koko, sekä elintarvikkeen rakenne ja sen muut ominaisuudet. [2, s. 299–305.]

*Clostridium botulinum* -itiöt kestävät parhaiten lämpökäsittelyä, joten säilyketeollisuuteen on vakiintunut termi botulinum-keitto (engl. botulinum cook), joka tarkoittaa käsittelyä, jonka avulla myös *Clostridium botulinum* -itiöt saadaan tuhottua tuotteesta. Monesti säilykkeiden valmistukseen käytettävässä sterilointikäsittelyssä puhutaan F-arvon (5.2.3) sijasta  $F_0$ -arvosta. Termissä 0 viittaa lämpötilaan 121 °C, joka on yleisesti hyväksytty ja eniten käytetty prosessilämpötila sterilointikäsittelyssä. Botulinum-keitossa pyritään 121 °C:n lämpötilaan ja 2,4 minuutin keston, tämän 12D-käsittelyksi kutsutun prosessin  $F_0$ -arvo on siis 2,4 min. [2, s. 299–305.]

## 5.2 Mikrobien lämmönkestävyys

Mikrobit voidaan jakaa eri ryhmiin niiden lämpötilaoptimin perusteella: psykrofiileilla kasvun salliva lämpötila-alue on 0–35 °C, mesofiileilla alue on 10–50 °C ja termofiileilla 40–90 °C. Useimpien elintarvikkeiden pilaaja- ja taudinaiheuttajamikrobien kasvualue on noin 30–40 °C:een välillä ja kaikista edellä mainituista ryhmistä löytyy sekä pilaajattia taudinaiheuttajamikrobeja. Tämä 30–40 °C:n lämpötila-alue ylittämällä tai alittamalla pystytään tuhoamaan haitalliset mikrobit tai ainakin estämään tai hidastamaan niiden kasvua. [4, s. 298–299.]

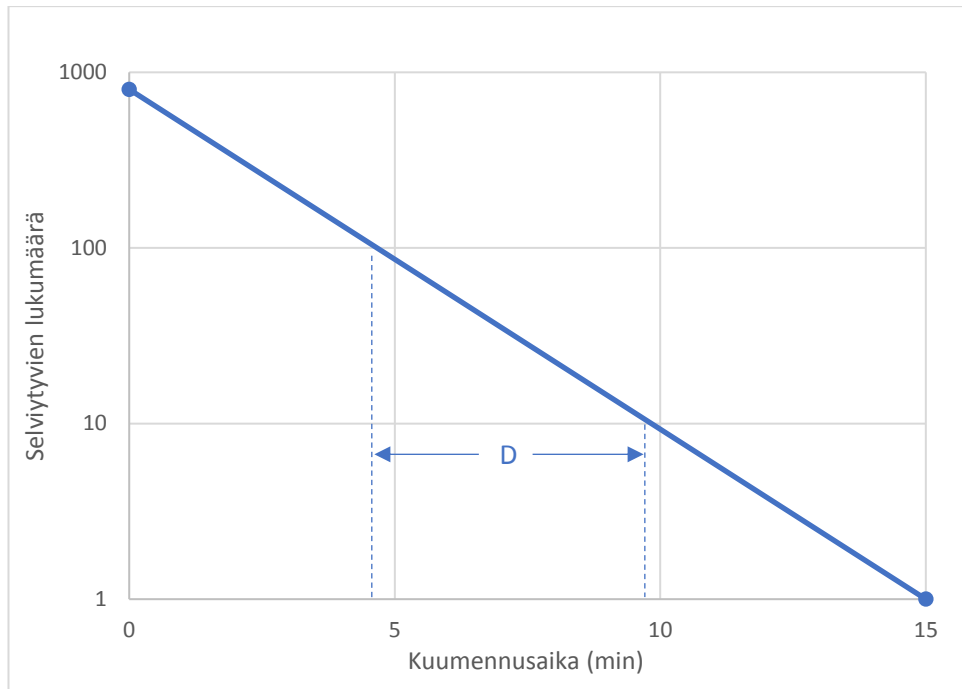
Useimmat pilaaja- ja taudinaiheuttajamikrobit tuhoutuvat 60–70 °C:n lämpötilassa, eli niiden lämpökuolemispiste (engl. thermal death point) on alhainen ja niiden tuhoaminen kuumennuskäsittelyn avulla onkin varsin helppoa. Ongelmana ovatkin näitä kestävämmät bakteeri-itiöt, jotka vaativat tuhoutuakseen usein 70–130 °C:n lämpötilan. [4, s. 298–299.] Taukukkoon 1 on kerätty eri taudinaiheuttajamikrobien ja niiden itiöiden lämmönkestävyyksiä.

Taulukko 1. Eräiden taudinaiheuttajien ja niiden itiöiden lämmönkestävyyksiä, sekä D- ja z-arvoja. [19, s. 360.]

Mikro-organismi	D-arvo (min)	z-arvo	Lämpötila (°C)	Esiintyy tyypillisesti
<i>Aeromonas hydrophila</i>	2,2-6,6	5,2-7,7	48	Maito
<i>Bacillus strearothermophilus</i>	3,0-4,0	9-10	-	Kasvikset, maito
<i>Bacillus subtilis</i>	0,3-0,76	4,1-7,2	-	Maitotuotteet
<i>Bacillus subtilis</i> (itiö)	30,2	9,16	88	
<i>Bacillus cereus</i>	3,8	36	-	Maito
<i>Bacillus cereus</i> (itiö)	1,5-36,2	6,7-10,1	95	Useat ruoat
<i>Campylobacter jejuni</i>	0,62-2,25	-	55-56	Nauta/lammas/kana
<i>Campylobacter jejuni</i>	0,74-1,0	-	55	Rasvaton maito
<i>Clostridium botulinum</i> 62A (itiö)	0,61-2,48	7,5-11,6	110	Kasvistuotteet
<i>Clostridium botulinum</i> B (itiö)	0,49-12,42	7,4-10,8	110	Kasvistuotteet
<i>Clostridium botulinum</i> E (itiö)	6,8-13	9,78	74	Mereläivät
<i>Clostridium perfringens</i> (itiö)	6,6	-	104,4	Beef gravy
<i>Clostridium sporogenes</i>	0,7-1,5	8,8-11,1	-	Lihat
<i>Clostridium thermosaccharolyticum</i>	3,0-4,0	7,2-10,0	-	Kasvikset
<i>Escherichia Coli</i> O111:B4	5,5-6,6	-	55	Rasvaton maito/täysmaito
<i>Escherichia Coli</i> O157:H7	4,1-6,4	-	57,2	Naudan jauheliha
<i>Escherichia Coli</i> O157:H8	0,26-0,47	5,3	62,8	Naudan jauheliha
<i>Listeria monocytogenes</i>	0,22-0,58	5,5	63,3	Maito
<i>Listeria mono-cytogenes</i>	1,6-16,7	-	60	Lihat
<i>Staphylococcus aureus</i>	6	-	60	Liha
<i>Staphylococcus aureus</i>	3	-	60	Pasta
<i>Staphylococcus aureus</i>	0,9	9,5	60	Maito
<i>Salmonella senftenberg</i>	276-480	18,9	70-71	Maitosuklaa
<i>Salmonella senftenberg</i>	0,56-1,11	4,4-5,6	65,5	Useat ruoat
<i>Salmonella typhimurium</i>	396-1050	17,7	70-71	Maitosuklaa
<i>Salmonella typhimurium</i>	2,13-2,67		57	Naudan jauheliha
<i>Vibrio cholerae</i>	0,35-2,65	17-21	60	Ravut/osterit
<i>Vibrio parahaemolyticus</i>	0,02-2,5	5,6-12,4	55	Simpukat/ravut
<i>Vibrio parahaemolyticus</i>	10-16	5,6-12,4	48	Homogenoitu kala
<i>Yersinia enterocolitica</i>	0,067-0,51	4-5,78	60	Maito

### 5.2.1 Lämpötuhoutumiskäyrä ja D-arvo

Mikrobipopulaation lämpötuhoutuminen tapahtuu logaritmisesti. Tietyissä lämpötilassa tapahtunut tietyn pituinen kuumennus aiheuttaa siis aina tietyn suuruisen prosenttiosuuden pienenemisen mikrobipopulaatiossa mikrobien lukumäärästä riippumatta. Tätä voidaan havainnollistaa graafisesti lämpötuhoutumiskäyrän (engl. death rate curve) avulla (kuva 5).



Kuva 5. Lämpötuhoutumiskäyrä [19, s. 359.]

Lämpötuhoutumiskäyrän kulmakertoimen perusteella saadaan D-arvo (engl. D value, decimal reduction time). D-arvo kertoo ajan (min), joka tarvitaan tietyssä lämpötilassa tuhoamaan yhden logaritmisin yksikön, eli 90 %:n, verran mikrobipopulaatiosta, ja sen laskemiseen tarvittava kaava on

$$D_T = t / (\log N_0 - \log N_t)$$

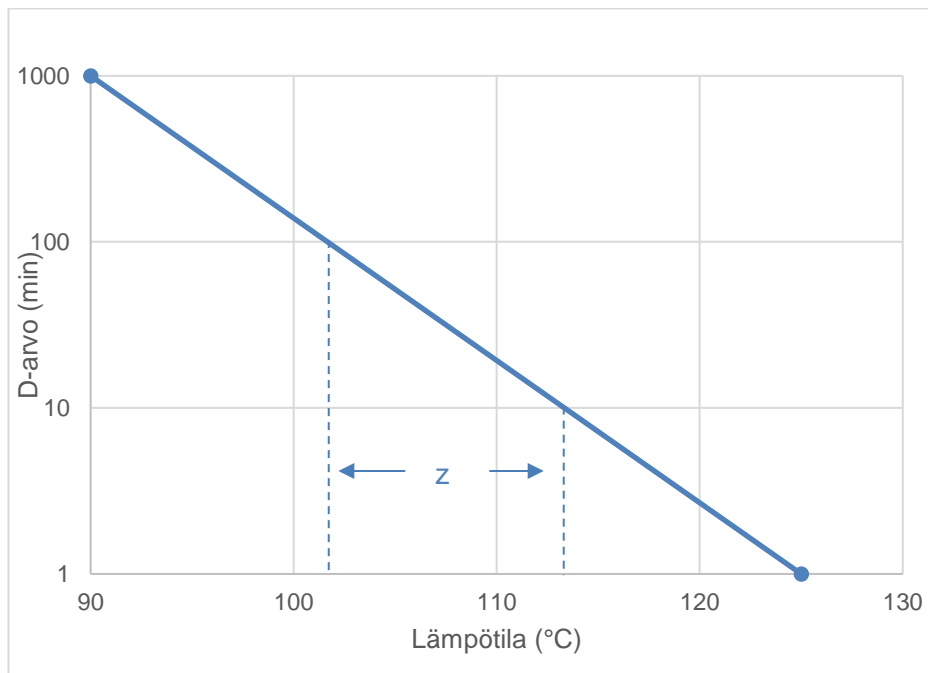
jossa T on käytetty lämpötila, t kuumennusaika,  $N_0$  bakteerimäärä kuumennuksen alussa ja  $N_t$  bakteerimäärä kuumennuksen (t) jälkeen. [2, s. 301–206; 19, s. 359–363]

D-arvot vaihtelevat mikrobilajeittain ja mitä korkeampi arvo on, sen parempi lämmönkestävyys lajilla on (taulukko 1).

### 5.2.2 Lämpötuhoutumisaikakäyrä ja z-arvo

Mitä korkeampi lämpötila prosessissa on, sitä nopeammin mikro-organismien tuhoutuminen tapahtuu. Tätä voidaan havainnollistaa lämpötuhoutumisaikakäyrän (engl. thermal death time, TDT) avulla, jossa logaritmiset D-arvot on esitetty lämpötilan suhteen (kuva 6).





Kuva 6. Lämpötuhoutumisaikakäyrä ja z-arvon havainnollistaminen. [19, s. 361.]

Lämpötuhoutumisaikakäyrän avulla saadaan määritettyä z-arvo, joka kertoo lämpötilanmuutoksen (°C), joka vaaditaan muuttamaan bakteeripopulaation D-arvoa yhden logaritmisin yksikön verran. z-arvon laskemiseen käytettävä kaava on

$$z = (T_1 - T_2) / (\log D_{T_1} - \log(D_{T_2}))$$

jossa  $T_1$  on lämpötila, jossa  $D_{T_1}$  on määritetty,  $T_2$  on lämpötila, jossa  $D_{T_2}$  on määritetty,  $D_{T_1}$  on D-arvo lämpötilassa  $T_1$  ja  $D_{T_2}$  on D-arvo lämpötilassa  $T_2$ . [2, s. 301–306; 19, s. 359–363.]

D-arvon tavoin z-arvo vaihtelee mikrobilajeittain ja myös saman lajin eri kantojen välillä saattaa esiintyä eroja (taulukko 1).

### 5.2.3 F-arvo ja P-arvo

Lämpökäsittelyn tehoa voidaan mitata F-arvon tai P-arvon avulla. Arvot tarkoittavat käytännössä samaa asiaa, mutta F-arvoa käytetään puhuttaessa sterilointiprosessista ja P-

arvoa pastörintiprosessista puhuttaessa. Arvot kertovat prosessointiajan, joka vaaditaan z-arvoltaan homogeenisen mikrobipopulaation tuhoamiseen tietyssä lämpötilassa. [2, s. 301–306.]

Kun lasketaan P-arvoa tietyssä lämpötilassa, käytetään kaavaa

$$P_{T_1} = P_{T_{ref}} / 10^{(T_1 - T_{ref})/z}$$

jossa  $T_1$  on lämpötila mittaushetkellä,  $P_{T_{ref}}$  on prosessointiaika,  $T_{ref}$  tunnettu lämpötila ja  $z$  on käytetty z-arvo. [2, s. 301–306.]

### 5.3 Autoklaavi

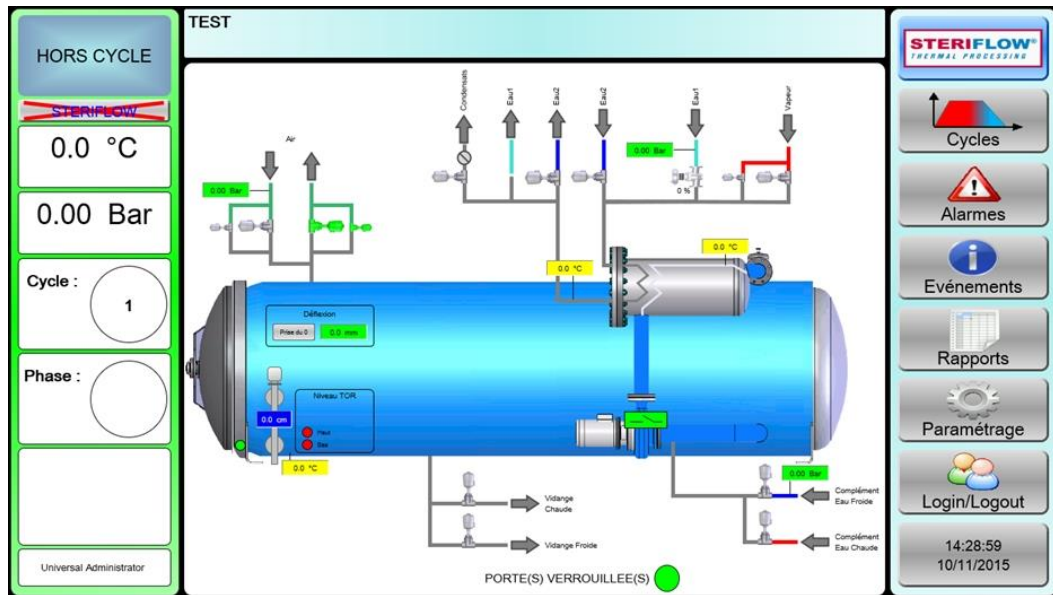
Autoklaaveja käytetään elintarviketeollisuudessa sekä pastörintiin että sterilointiin, ja niitä on elintarviketeollisuuden lisäksi käytössä myös lääketeollisuudessa. Autoklaavien toiminta perustuu siihen, että vesi kiehuu normaalista poikkeavassa vesihöyryn paineessa joko korkeammassa tai alemmassa lämpötilassa. Laitteita nimetään edellä mainitun periaatteen mukaisesti joko ylipaine- tai alipaineautoklaaveiksi, joista ylipaineautoklaavit ovat yleisempiä. [4, s. 298–299; 18, s. 40–43; 20; 21, s. 41–49.]

Autoklaaveja voidaan jakaa vertikaalisiin ja horisontaalisiin autoklaaveihin, sekä jaotella niitä niiden liikkuvuuden perusteella seisoviin tai liikkeellisiin autoklaaveihin. Rotaatioautoklaavissa lämpeneminen on tasaista häkkien pyörimisen ansiosta. Autoklaavit voidaan edellä mainittujen lisäksi jakaa myös jatkuvatoimisiin autoklaaveihin ja panosautoklaaveihin, jotka täytetään ja tyhjennetään samasta ovesta. Oman ryhmänsä muodostavat vielä ylipaineperiaatteella toimivat suurtuotantoautoklaavit (kuva 7), joissa lämpö, aika ja paine ovat säädettävissä. [4, s. 298–299; 18, s. 40–43; 20; 21, s. 41–49.]



Kuva 7. Steriflow'n suurtuotantoautoklaavi. [20.]

HKScan Finland Oy:llä on käytössä Steriflow'n valmistamia suurtuotantoautoklaaveja, joiden tyhjentäminen ja täyttämien tapahtuu manuaalisesti yhdestä ovesta. Lämmön, paineen ja ajan säätäminen tapahtuu MPI-ohjelmistolla, johon syötetään jokaiselle tuoteohjelmalle halutut parametrit esilämmityksen, lämmityksen ja jäähdytyksen suhteen. Prosessin etenemistä voidaan seurata MPI-ohjelmiston hallintapaneelista (kuva 8). [20.]



Kuva 8. MPI-hallintapaneeli. [20.]

## 6 Työn toteutus

HKScan Finland Oy:n Vantaan tuotantolaitokselle tilattiin uusia Steriflow'n valmistamia autoklaaveja, jotka validoitiin ennen varsinaista käyttöönottoa. Tässä tapauksessa validoinnilla tarkoitetaan sitä, että pastörintiohjelmien toiminta todennettiin laskemalla eri tuoteryhmistä ja tuotteista saatujen lämpötilamittausten avulla niiden pastörintiavot. Minimipastörintiavon ylittyessä pystyttiin käytössä ollut pastörintiohjelma todeta toimivaksi.

Osastolla oli jo ennestään käytössä Steriflow:n valmistamia autoklaaveja, joita oli uusien autoklaavien saapumiseen saakka käytetty kaikkien osastolla valmistettavien tuotteiden pastörintiin. Uusien autoklaavien saavuttua vanhemmille autoklaaveille pastöroitavaksi oli tarkoitus jättää vain yksi tuoteryhmä, joten lämpötilamittauksia tehtiin myös vanhoilla autoklaaveilla tämän yhden tuoteryhmän tuotteille. Saatujen tulosten avulla mietittiin, olisiko pastörintiohjelmaa mahdollista optimoida esimerkiksi ohjelman pituutta lyhentämällä.

## 6.1 Mittalaitteisto

Lämpötilamittaukset tehtiin Technosoftin valmistamilla dataloggereilla, jotka keräävät dataa ympäristönsä lämpötilasta. Yritys valmistaa loggereita, joilla voidaan lämpötilan lisäksi mitata myös painetta tai kosteutta, ja näitä kaikkia käytetään elintarviketeollisuuden lisäksi myös lääketeollisuudessa ja laboratorioissa. [22.] Työssä käytetyt lämpötilamittaukseen tarkoitetut mallit olivat SterilDisc (kuva 9, nro 1), SterilDisc Probe 10 (kuva 9, nro 2), SterilDisc Probe (kuva 9, nro 3) ja S-Radio 100 / 5 mm (kuva 9, nro 4).



Kuva 9. Lämpötilamittaukseen käytettyjä dataloggereita. [22.]

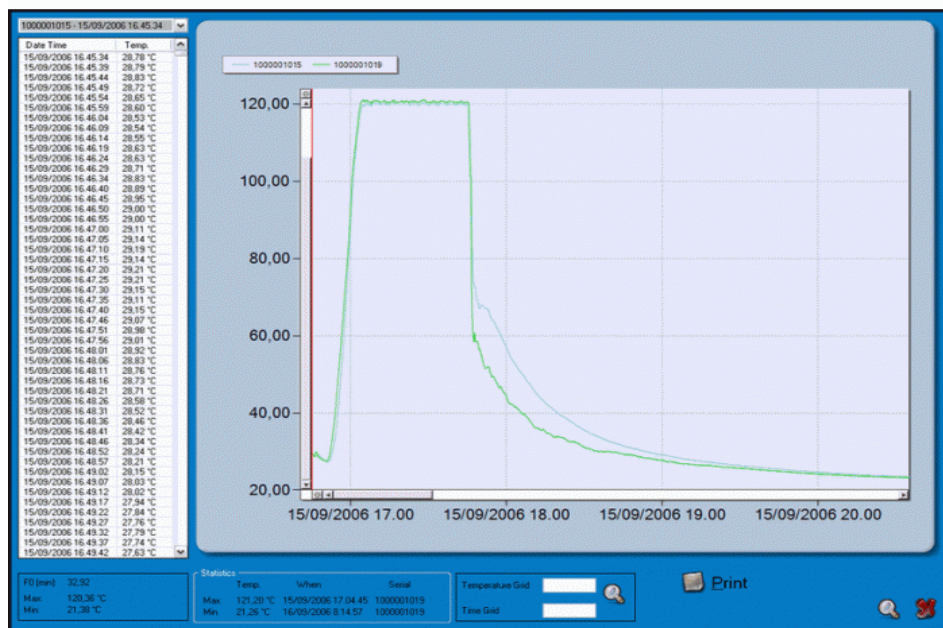
Kaikki loggerit on valmistettu ruostumattomasta teräksestä. SterilDisc-mallit ovat kooltaan 17,4 x 36,5 mm ja niiden mittausalue on -20°C:sta 140°C:een. S-Radio -mallin koko on 76 x 30 mm ja sen mittausalue on -40°C:sta 140°C:een. SterilDisc-perusmallia lukuun ottamatta loggereissa on ulkoinen anturi, joka voidaan työntää suoraan mitattavaan tuotteeseen, jonka ansiosta lämpötiladata saadaan itse tuotteesta sen ympäristön sijaan. [22.]

Loggerit saadaan yhdistettyä tietokoneeseen datan siirtoa varten DiscInterface-lukijalaitteen avulla. Mittausdatan lukemiseen ja loggereiden ohjelmointiin käytetään SPD-ohjelmistoa (kuva 10). [22.]



Kuva 10. SPD-ohjelmisto. [22.]

Ohjelmisto kertoo loggerin mittaamat lämpötilat minuutin välein ja piirtää niistä lämpötilakäyrän (kuva 11). Mittausten muokkaaminen ei ole tässä vaiheessa mahdollista, mutta tietojen käsittelyä varten data saadaan muutettua Excel-muotoon.



Kuva 11. Esimerkki SPD-ohjelmiston piirtämästä lämpötilakäyrästä. [22.]

## 6.2 P/D-arvon laskeminen

HKScan Finland Oy:llä pyritään pastörintikäsittelyyn, jossa tuotteen sisälämpötila pysyi 10 minuutin ajan 90 °C:ssa. Taulukosta 2 nähdään, että pastörintilämpötilan jäädessä alhaisemmaksi pastörintiaika muuttuu huomattavasti pidemmäksi, vaikka kyseessä olisi pienikin lämpötilamuutos. Taulukossa on esitetty minimipastörintiajat eri lämpötiloissa.

Taulukko 2. Minimipastörintiaika eri lämpötiloissa. [23, s. 12–13.]

Lämpötila (°C)	Aika (min)
80	270,3
81	192,3
82	138,9
83	100,0
84	71,9
85	51,8
86	37,0
87	27,0
88	19,2
89	13,9
<b>90</b>	<b>10,0</b>
91	7,9
92	6,3
93	5,0
94	4,0
95	3,2
96	2,5
97	2,0
98	1,6
99	1,3
100	1,0

Lämpökäsittelyn riittävyys varmistetaan HKScan Finland Oy:llä P/D-arvon avulla, joka lasketaan Excel-laskukaavaa käyttämällä. Excel-muotoon saadusta loggerin keräämästä lämpötiladatasta siirretään kaavaan mittausdata lämpötila-alueelta 80 °C–80 °C. Jokaiselle lämpötila-arvolle lasketaan oma P-arvonsa luvussa 5.4.3 esitetyn P-arvon laskukaavan mukaisesti, jossa  $T_{ref}$  on 90 °C ja  $z$  on 7 T<sub>1</sub>:n ollessa alle 80 °C tai 10 T<sub>1</sub>:n ylittäessä 90 °C.

Tämän jälkeen saadut P-arvot summataan yhteen ja saadaan lopullinen pastörintikäsittelyn onnistumisesta kertova P/D-arvo jakamalla summatut P-arvot D-arvolla 1,64, joka vastaa 10 minuutin kuumennusta 90 °C:n lämpötilassa.



P/D-arvon raja-arvo on 6, tämän alittuessa pastörintikäsittely ei ole ollut riittävä. Mitä suurempi P/D on, sitä paremmin pastörintikäsittely on onnistunut.

### 6.3 Mittausten suoritus ja tulokset

Sekä optimointiin että validointiin liittyvät lämpötilamittaukset tehtiin sijoittamalla lämpötilaa mittaavia loggereita autoklaavivaunuihin (kuva 12) eri kohtiin autoklaavia.

Jokaisessa autoklaavissa on 1 tai 2 piikkimallista lämpötila-anturia, jotka voidaan asettaa autoklaavin sisällä suoraan tuotteeseen mittaamaan lämpötilaa. Anturin lämpötilamittaukset ovat nähtävillä autoklaavien komentotauluilta ja ne pystytään siirtämään Excel-muotoon.

Loggereilla tehtyjen lämpötilamittausten lisäksi vertailumittauksia tehtiin myös autoklaavin lämpötila-antureilla ja niistä saadulle datalle laskettiin myös P/D-arvot.



Kuva 12. Autoklaavivaunu. [20.]



### 6.3.1 Optimointi

Tuoteryhmälle 1 tarkoitetun pastörintiohjelman optimointia tehtiin kaikille tuoteryhmään kuuluville tuotteille.

Jokaiseen tuotteeseen pyrittiin saamaan kolme loggeria, mutta joihinkin tuotteisiin loggereita saatiin laitettua vähemmän. Loggerit sijoitettiin autoklaavin takaosaan, keskelle ja etuosaan. Sijoittelu vaunussa vaihteli, sillä haluttiin nähdä loggerin sijainnin merkitys saatavaan P/D-arvoon.

Loggeri sijoitettiin tuotantolinjalla rasiaan suoraan tuotteen sekaan ennen rasian kalvon laittoa, jonka jälkeen rasiat aseteltiin haluttuihin paikkoihin vaunuihin.

Taulukkoon 3 on koottu validoidut tuotteet ja niiden sijainti autoklaavissa. Takimmaisella vaunulla tarkoitetaan vaunua, joka laitetaan täyttövaiheessa autoklaaviin ensimmäisenä ja tyhjennyksessä otetaan viimeisenä pois. Taulukkoon on kerätty myös saadut P/D-arvot.

Taulukko 3. Optimoinnissa saadut tulokset.

Mittaus	Tuote	Loggereiden sijainti (sijainti autoklaavissa/sijainti vaunussa)	Loggereiden P/D-arvot	Autoklaavin lämpötila-anurin P/D-arvo
1	1A	takana / alhaalla keskellä / keskellä	L1 - 27,6 L2 - 24,3	A1 - 80,5
2	1B	takana / ylhäällä keskellä / alhaalla alhaalla / keskellä	L1 - 15,8 L2 - 20 L3 - 26,6	A2 - 17,9
3	1C	takana / keskellä edessä / ylhäällä keskellä / alhaalla	L1 - 14,5 L2 - 7,4 L3 - 10,3	A1 - 53,3 A2 - 75,8
4	1C	takana / ylhäällä	L1 - 11,4	A1 - 71,2 A2 - 92
5	1D	takana / alhaalla edessä / ylhäällä	L1 - 8,1 L3 - 8,4	-
6	1E	takana / alhaalla keskellä / keskellä edessä / ylhäällä	L1 - 2,1 L2 - 5,3 L3 - 28,0	-
7	1F	takana / alhaalla keskellä / keskellä	L1 - 25,8 L2 - 22,2	-
8	1G	edessä / ylhäällä	L3 - 16,4	-

Raja-arvosta jääneet P/D-arvot on merkitty keltaisella.

### 6.3.2 Validointi

Validoitavia pastörintiohjelmiä oli neljä. Ohjelmat eroavat toisistaan pituutensa puolesta ja jokaiselle ohjelmalle on määritetty siinä pastöroitavat tuotteet. Taulukossa 4 esitetään kuhunkin pastörintiohjelmaan kuuluvat tuoteryhmät.

Taulukko 4. Pastörintiohjelmat ja pastöroitavat tuotteet.

Ohjelma 1	Ohjelma 2	Ohjelma 5	Ohjelma 6
Tuoteryhmä 1	Tuoteryhmä 2	Tuoteryhmä 5	Tuoteryhmä 11
	Tuoteryhmä 3	Tuoteryhmä 6	
	Tuoteryhmä 4	Tuoteryhmä 7	
		Tuoteryhmä 8	
		Tuoteryhmä 9	
		Tuoteryhmä 10	

Autoklaavien käyttöönotto oli tehtävä melko lyhyellä aikataululla, joten lämpötilamittaukset oli tarkoitus tehdä jokaiselle tuoteryhmälle vain kerran. Mittauksia suoritettiin useampana eri päivänä, ja loggerit käytiin linjastolla sijoittamassa tuotepusseihin ennen niiden sulkemista.

Loggerit sijoiteltiin autoklaaviin jokaisessa keitossa samoihin kohtiin (kuva 10). Autoklaavin perällä oleva loggeri laitettiin vaunun alaosaan, autoklaavin keskellä oleva loggeri vaunun keskiosaan ja autoklaavin etuosassa oleva loggeri vaunun yläosaan.

•							
			•				
							•

Kuva 13. Loggereiden sijoittelu autoklaavissa.

Tuoteryhmään 2 kuuluville tuotteille päädyttiin tekemään useampia mittauksia, sillä ensimmäisestä mittausdatasta saadut P/D-arvot eivät ylittäneet raja-arvoa. Ohjelmaan lähdettiin tekemään muutoksia ohjelman pituutta sekä lämpötilan pyyntiarvoa muuttamalla. Taulukkoon 5 on kerätty ohjelmaan tehdyt muutokset ja lasketut P/D-arvot, raja-arvosta jääneet arvot on merkitty keltaisella.

Taulukko 5. Tuoteryhmään 2 kuuluvien tuotteiden validoinnin tulokset.

Mittaus	Tuote	Ohjelman pituus (min) / lämpötilan pyyntiarvo (°C)	Loggereiden P/D- arvot	Autoklaavin lämpötila-an- tureiden P/D- arvot
1	2A	X min / x °C	t. 1,6 k. 3,3 e. 8,7	0,13
2	2B	X min+20 min / x °C	e. 126	188,3 184
3	2C	X min+10 min / x °C	t. 77,3 k. 73,6 e. 109,1	237
4	2D	X min / x °C	t. 144,4 k. 254,7 e. 125,17	67,3
5	2E	X min / x °C-2 °C	t. 76,3 k. 55,9 e. 75,9	70,4 97,5
6	2F	X min-10 min / x °C-2 °C	t. 5,1 k. 6,3 e. 9,10	51,6 36,7
7	2G	X min-5 min / x °C-2 °C	t. 15,2 k. 22,2 e. 9,6	113,2 112

Ohjelmalla 5 pastöroitaviin tuotteisiin kuului useampi erilainen tuoteryhmä, joten mittauksia tehtiin muita ohjelmia enemmän. Tuoteryhmät ja saadut P/D-arvot on kerätty taulukoon 6.

Ohjelman 2 validointiin kuuluivat myös tuoteryhmät 3 ja 4, niiden tulokset on esitetty taulukossa 7 yhdessä ohjelmilla 1 ja 6 saatujen tulosten kanssa.

Taulukko 6. Ohjelmalla 5 validoidut tuoteryhmät ja niiden P/D-arvot.

Mittaus	Tuoteryhmä	Loggereiden P/D-arvot	Autoklaavin lämpötila-antureiden P/D-arvot
1	Tuoteryhmä 9	t. 34 k. 34 e. 99,7	76,7 73
2	Tuoteryhmä 6	t. 114,1	
3	Tuoteryhmä 7	k. 99,6 e. 45,2	125,9 120
4	Tuoteryhmä 5	t. 84,7 k. 52	
5	Tuoteryhmä 10	e. 80,3	107 120,4
6	Tuoteryhmä 8	t. 75,5 k. 106,1 e. 83,6	119,9

Taulukko 7. Ohjelmilla 1, 2 ja 6 validoidut tuoteryhmät ja niiden P/D-arvot.

Mittaus	Ohjelma	Tuoteryhmä	Loggereiden P/D-arvot	Autoklaavin lämpötila-antureiden P/D-arvot
1	1	Tuoteryhmä 1	t. 33 k. 41 e. 33	54,8 42,7
2	2	Tuoteryhmä 2	t. 75,9	
3	2	Tuoteryhmä 3	e. 175	182
4	6	Tuoteryhmä 11	t. 194,3	184 157,6

## 7 Tulosten analysointi

### 7.1 Optimointi

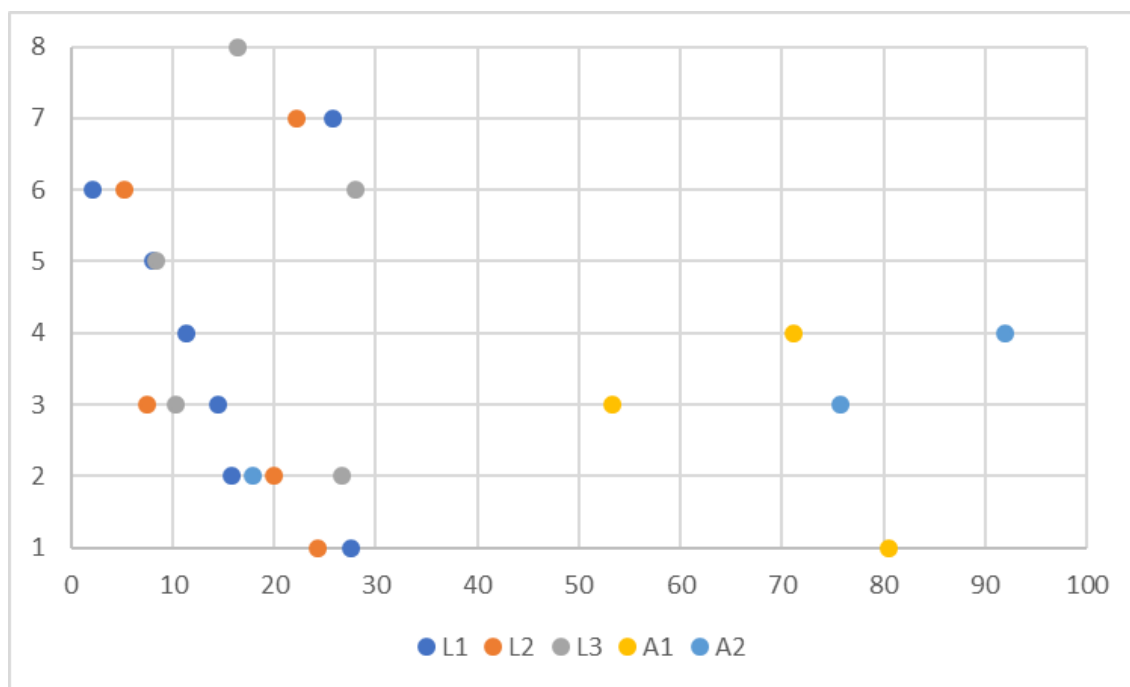
Kuvassa 14 ovat optimoinnista saadut P/D-arvot graafisesti esitettynä. L1 on autoklaavin takaosassa ollut loggeri, L2 on autoklaavin keskiosassa ollut loggeri ja L3 autoklaavin etuosassa ollut loggeri. Autoklaavien omat lämpötila-anturit ovat A1 ja A2.

Kuvasta 14, sekä Taulukko 3 tuloksista nähdään, että autoklaavien lämpötila-antureiden datan avulla lasketut P/D-arvot poikkeavat huomattavasti loggereiden datasta lasketuista P/D-arvoista. Suuri ero johtuu todennäköisesti loggerin ja lämpötila-anturin erilai-

sesta mallista. Loggerit ovat kookkaampia kappaleita ja keräävät lämpöä ohutta lämpötila-anturia hitaammin. Useampien toistomittauksien avulla saataisiin selvitettyä, onko toisistaan poikkeavilla loggeri- ja anturiarvoilla kuitenkin jonkinlainen suhde.

Loggeridatan perusteella lasketut P/D-arvot ovat useimmilla tuotteilla ylittäneet raja-arvon moninkertaisesti, lähimpänä raja-arvoa ovat mittauserroilla 3 ja 4 mitatut 1C-tuotteet. Näistäkin useampi ylitti kuitenkin raja-arvon lähes kaksinkertaisesti. Muista tuotteista eroten mittauserroilla 3 ja 4 mitattu tuote annostellaan tuotantolinjalla muita tuotteita kylmempänä, joten ero P/D-arvon suuruusluokassa saattaa osittain selittyä tällä.

Mittauskerralla 6 L1:llä ja L2:lla saadut P/D-arvot jäivät raja-arvon alapuolelle, kun taas L3:lla saatu arvo ylitti raja-arvon huomattavasti. Ilman toistokokeita ei voida luotettavasti sanoa mitään mittausvirheestä tai sen aiheuttajasta.



Kuva 14. Optimointimittauksen P/D-arvot graafisesti esitettynä.

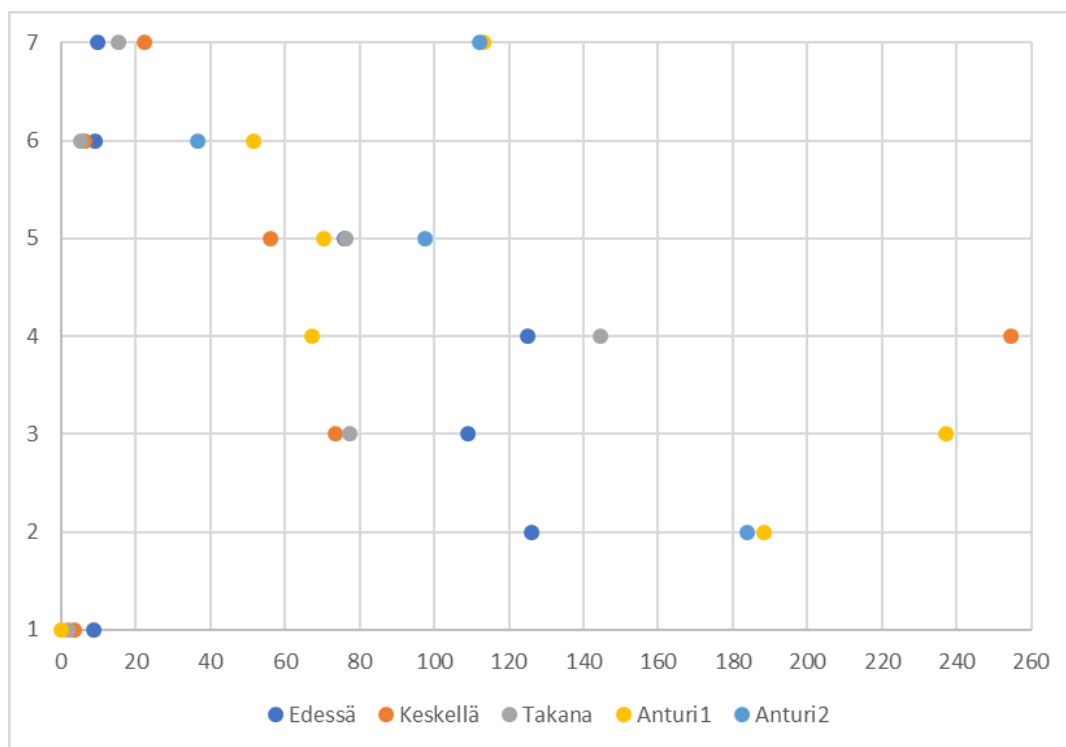
Tuotteille ei tehty toistomittauksia, joita vaadittaisiin luotettavan tilastollisen analyysin tekemiseen. Ideaalitilanne olisi myös, että kaikki mittauksissa käytettävät loggerit olisivat täysin samanlaisia, sillä loggereiden erilaiset mallit voivat omalta osaltaan aiheuttaa jonkinlaista mittausvirhettä.

Saatujen tulosten perusteella ohjelmaa olisi mahdollista optimoida esimerkiksi sen pituutta lyhentämällä, sillä useimmat P/D-arvot ylittävät raja-arvon moninkertaisesti.

## 7.2 Validointi

Autoklaavien käyttöönotto tapahtui melko pikaisella aikataululla, joten tätä työtä varten toistokokeita ei ehditty tehdä. Työn tarkoituksena olikin todeta vain autoklaavien toimivuus, jonka jälkeen yritys tekee ohjelmien optimoinnin, mikäli se katsotaan tarpeelliseksi.

Kuten aiemmin mainittiin, tuoteryhmä 2 oli ainoa tuoteryhmä, jolle tehtiin useampia mittauksia johtuen ohjelmaan tehdyistä muutoksista. Eri mittauskerroilla saadut P/D-arvot on esitetty graafisessa muodossa kuvassa 15. Kuvasta nähdään, että mittauksen hajonta on erittäin suuri varsinkin eri mittauskertojen välillä, mutta myös yhden mittauksen sisällä.



Kuva 15. Tuoteryhmään 2 kuuluvien tuotteiden P/D-arvot graafisesti esitettynä.

Myös tuoteryhmiin 5–10 kuuluvien tuotteiden saadut P/D-arvot heittelivät suuresti. Heittelyä tapahtui sekä eri tuoteryhmien välillä että samasta tuoteryhmästä tehtyjen eri mit-

tausten välillä (taulukko 6). Tuoteryhmään 9 kuuluvalla tuotteella (mittaus 1) ja tuoteryhmään 7 kuuluvalla tuotteella (mittaus 3) P/D-arvot eroavat kolmin- ja kaksinkertaisesti toisistaan.

Tuoteryhmillä 5–10 reilusti raja-arvon ylittävät P/D-arvot eivät ole ongelma, sillä tuotteet vaativat laadullisista syistä pidempää kypsennysaikaa, kuin olisi vain tuoteturvallisuuden kannalta olisi tarpeellista. Tuoteryhmällä 2 sen sijaan suuret raja-arvon ylitykset saattavat vaikuttaa negatiivisesti tuotteen laatuun mm. kuivattamalla tuotetta, joten ohjelmalle on edelleen tarpeen jatkaa testimittauksia ohjelman optimoimiseksi.

Eri mittauskohdissa saadut tulokset eivät saisi vaihdella niin suuresti kuin osassa mittauksista on käynyt, sillä autoklaavin olosuhteiden pitäisivät olla täysin samanlaiset sen jokaisessa osassa. Näiden tulosten perusteella ei voida kuitenkaan luotettavasti sanoa, mistä vaihtelu johtuu. Syitä voivat olla mm. erilaisten loggereiden käyttö, autoklaavin täyttöaste ja se mihin kohtaan loggeri on sijoittunut pussin sisällä, sillä pussin sisältö ei ole täysin homogeeninen.

Työn tarkoituksena oli todentaa kaikkien käytössä olevien pastörintiohjelmien toimiminen ja tulosten perusteella jokainen pystyttiin toteamaan toimivaksi.

### 7.3 Ehdotuksia jatkotoimenpiteiksi

Tasalaatuisemman prosessin saavuttamiseksi tulisi sekä uusien että vanhojen autoklaavien optimointia jatkaa esimerkiksi tekemällä riittävä määrä toistomittauksia, joiden tuloksia pystyttäisiin analysoimaan monipuolisemmin ja tarkemmin.

Validointiosuudessa tuotteet pääasiassa ylittivät raja-arvon moninkertaisesti, joten ohjelmaa luultavasti pystyttäisiin optimoimaan esimerkiksi sen pituutta lyhentämällä. Näin saataisiin prosessista entistä energiatehokkaampi ja tuottavampi. Kuten edellä mainittiin, 1C-tuote annostellaan tuotantolinjalla rasioihin muita tuotteita kylmempänä ja se saattaa aiheuttaa muihin tuotteisiin nähden suuren eron P/D-arvojen suuruudessa. Mikäli toistomittauksistakin saadut tulokset osoittaisivat eron johtuvan tästä, olisi ehkä prosessin optimoinnin kannalta syytä selvittää, onko erilainen annostelulämpötila todella tarpeen. Jos tuotteiden lämpötilat olisivat annosteltaessa lähempänä toisiaan, P/D-arvojen erot eri tuotteiden välillä luultavasti tasoittuisivat.



Uusilla autoklaaveilla toistomittauksia olisi tarpeen ensimmäiseksi tehdä homogeenisella tuotteella ja samanlaisilla loggereilla. Näin pystyttäisiin näkemään, vaihtelevatko saadut P/D-arvot edelleen suuresti autoklaavin eri kohdissa ja onko autoklaavien välillä eroa. Suoritettaessa mittauksia homogeenisella tuotteella myös loggereiden ja autoklaavien omien antureiden mittaustulokset olisivat vertailukelpoisempia ja näin pystyttäisiin selvittämään niiden P/D-arvojen välinen korrelaatio.

## Lähteet

- 1 Ijäs, Tuija & Välimäki Maija-Liisa. 2005. Tunne elintarvikkeet. Keuruu: Otavan Kirjapaino Oy.
- 2 Korkeala, Hannu (toim.). 2007. Elintarvikehygieniä, ympäristöhygieniä, elintarvike- ja ympäristötoksikologia. Helsinki: WSOY Oppimateriaalit Oy.
- 3 Lämpökäsittelyt. 2013. Verkkodokumentti. Ruokatieto Yhdistys ry. <<https://www.ruokatieto.fi/ruokakasvatus/lupa-kokata-elintarvikehygienian-perusteet/elintarvikkeiden-hygieninen-kasittely/lampokasittelyt>> Luettu 12.1.2017.
- 4 Saarela, Anna-Maria, Hyvönen, Paula, Määttä, Sinikka & von Wright, Atte (toim.). 2010. Elintarvikeprosessit. Kuopio: Savonia-ammattikorkeakoulu.
- 5 Lihatuotteet. 2013. Verkkodokumentti. Ruokatieto Yhdistys ry. <<https://www.ruokatieto.fi/ruokakasvatus/ruokaketju-ruuan-matka-pelloilta-poytaan/elintarviketeollisuus/elintarvikkeiden-valmistus/lihatuotteet>> Luettu: 21.2.2017.
- 6 Lihan tuotanto Suomessa. Verkkodokumentti. Lihatieotusyhdistys ry. <<http://www.lihatiedotus.fi/liha-tilastoissa/lihan-tuotanto-suomessa.html>> Luettu: 21.2.2017.
- 7 Vähemmän lihaa lautaselle. 2016. Verkkodokumentti. WWF Suomi. <<https://wwf.fi/vahemman-lihaa-lautaselle/>> Luettu: 16.4.2017.
- 8 Lihan kulutus Suomessa. Verkkodokumentti. Lihatieotusyhdistys ry. <<http://www.lihatiedotus.fi/liha-tilastoissa/lihan-kulutus-suomessa.html>> Luettu: 21.2.2017.
- 9 Forsythe, Stephen J. 2010. The Microbiology of Safe Food. Second Edition. Wiley-Blackwell.
- 10 Jarva, Olli. 2015. Käytännönläheinen opas Sous Vide -ruoanlaittoon. Verkkodokumentti. <<http://www.sousvide.fi>> Luettu. 1.2.2017.
- 11 Hopia, Anu, Pihlajaviita, Saija & Lyhs, Ulrike. 2012. Sous vide -ruuanvalmistuksen uusi tapa ravintoloissa vaatii huolellisuutta. Verkkodokumentti. Kehittyvä Elintarvike. <<http://kehittyvaelintarvike.fi/teemajutut/sous-vide-ruuanvalmistuksen-uusi-tapa-ravintoloissa-vaatii-huolellisuutta>> Luettu: 1.2.2017.
- 12 Elintarvikkeiden saastuminen (kontaminaatio) ja pilaantuminen. 2016. Verkkodokumentti. Evira. <<https://www.evira.fi/elintarvikkeet/tietoa-elintarvikkeista/elintarvikevaarat/elintarvikkeiden-saastuminen-kontaminaatio-ja-pilaantuminen>> Luettu: 1.2.2017.

- 13 Mikrobien kasvua edistävät tekijät. 2017. Verkkodokumentti. Evira.  
<<https://www.evira.fi/elintarvikkeet/tietoa-elintarvikkeista/elintarvikevaarat/ruokamyrkytykset/yleista-mikrobeista/mikrobien-kasvua-edistavat-tekijat/>> Luettu: 1.2.2017
- 14 Ruokamyrkytys-epidemioiden ja sairastuneiden määrä. 2016. Verkkodokumentti. Ruokatietoyhdistys ry. <[https://www.ruokatieto.fi/sites/default/files/Ruoka-fakta/Tietohaarukan%20taulukot/ruokamyrkytys-epidemioiden\\_ja\\_sairastuneiden\\_maara\\_2015.jpg](https://www.ruokatieto.fi/sites/default/files/Ruoka-fakta/Tietohaarukan%20taulukot/ruokamyrkytys-epidemioiden_ja_sairastuneiden_maara_2015.jpg)> Luettu: 13.3.2017.
- 15 Mikrobi. 2006. Verkkodokumentti. Solunetti. <<http://www.solunetti.fi/fi/solubiologia/mikrobi/>> Luettu: 1.2.2017.
- 16 Mikrobipopulaation kasvuvaiheet. 2006. Verkkodokumentti. Solunetti. <[http://www.solunetti.fi/fi/solubiologia/mikrobipopulation\\_kasvuvaiheet/3/](http://www.solunetti.fi/fi/solubiologia/mikrobipopulation_kasvuvaiheet/3/)> Luettu: 1.2.2017.
- 17 Elintarvikkeiden säteilytys. 2016. Verkkodokumentti. Evira. <<https://www.evira.fi/elintarvikkeet/tietoa-elintarvikkeista/kasittely-ja-sailyttaminen/sailyvyyden-parantaminen/sateilyttaminen/>> Luettu: 15.3.2017.
- 18 Ijäs, Tuija & Välimäki, Maija-Liisa. 2010. Tunne Elintarviketekniikka. Keuruu: Ota-van Kirjapaino Oy.
- 19 Fellows, P.J. 2009. Food processing technology: principles and practice. Third Edition. Woodhead.
- 20 Autoclaves for food. Verkkodokumentti. Steriflow. <<http://www.steriflow.com/en/autoclave-sterilization-food>> Luettu: 20.12.2016.
- 21 Brennan, James G. 2006. Food Processing Handbook. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- 22 Technosoft. Verkkodokumentti. <<http://www.tecnosoft.eu/en>> Luettu: 28.12.2016.
- 23 Rowswell, Chris. 2017. Verkkodokumentti. The safety and shelf-life of vacuum and modified atmosphere packed chilled foods with respect to non-proteolytic *Clostridium botulinum*. <<https://www.food.gov.uk/sites/default/files/multimedia/pdfs/publication/vacpacguide.pdf>> Luettu: 18.4.2017.